

# Memorias



Sociedad Latinoamericana en  
Percepción Remota y Sistemas  
de Información Espacial  
Capítulo Colombia

**30**  
AÑOS

Medellín, Colombia  
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



# **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS ÁREAS VERDES EN UNA MICROCUENCA URBANA (IBAGUÉ-COLOMBIA), APOYADO EN LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Díaz Cuellar Mario Alejandro<sup>1</sup>, Montoya Sánchez Vannesa Alejandra<sup>2</sup>, Pérez Gómez Uriel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Joven Investigador Grupo de Investigación Cuencas Hidrográficas, Universidad del Tolima - Colciencias, malejandrodiaz@ut.edu.co

<sup>2</sup> Joven Investigador Grupo de Investigación Cuencas Hidrográficas, Universidad del Tolima - Colciencias, vamontoyas@ut.edu.co

<sup>3</sup> Líder del grupo de Investigación Cuencas Hidrográficas, Universidad del Tolima, uperez@ut.edu.co

## **RESUMEN**

El acelerado crecimiento poblacional de las áreas urbanas en los países latinoamericanos provoca cambios en la cobertura del suelo; Colombia no es la excepción, áreas de importancia ambiental como las cuencas hidrográficas son urbanizadas. La microcuenca Hato de la Virgen ubicada en la ciudad de Ibagué, se caracteriza por su nacimiento dentro del perímetro urbano y su alimentación de aguas lluvias y vertimientos de aguas residuales. Se analizó el estado de las áreas verdes, durante los últimos 20 años mediante fotografías aéreas digitales en tres momentos, determinando la distribución espacial, patrón y métrica, mediante el software libre gvSIG. Las áreas verdes fueron identificadas, delimitadas, cuantificadas y caracterizadas. El análisis multitemporal de las categorías de las coberturas

de interés se realizó a través de procesos de superposición y análisis de matrices de cambio. Los resultados obtenidos dejan ver, que la microcuenca, presenta un alto grado de urbanización que aumenta con los años y los espacios que pueden conformar nuevas áreas verdes desaparecen constantemente. Es relevante fortalecer la planeación de las áreas verdes, favoreciendo la sostenibilidad ambiental y social de las cuencas urbanas, no solo por su carácter estético sino por la estabilidad ecológica y los servicios ambientales.

**Palabras claves:** Matrices de cambios, SIG, Análisis del paisaje, Microcuencas hidrográficas urbanas.

## **ABSTRACT**

The rapid population growth in urban areas in Latin American countries causes changes in land cover; Colombia is not the exception, environmental important areas such as river basin are urbanized. The river basin Hato de la Virgen is located in the city of Ibagué; it is characterized by birth within the city limits and its supply by rainwater and wastewater discharges. The states of the green areas were analyzed during the last 20 years, determining the spatial distribution pattern and measuring, using gvSIG software. Aerial photographs of 1994, 2003 and an orthophotomosaic of 2009, update to 2014 were used. The green areas were identified, defined, quantified and characterized. The multitemporal analysis of categories of hedges of interest was performed using overlapping processes and analyzing matrices of change. The results reveal that, the river basin has a high degree of urbanization and reduction of green spaces. So it is necessary to strengthen the planning of urban green areas, considered as pleasant and necessary space in the urban component.

Promoting environmental and social sustainability, not only for its aesthetic character but for their environmental services.

**Keywords:** matrices of change, GIS, Landscape analysis, urban river basin.

## INTRODUCCIÓN

Ibagué es una ciudad que se ha destacado por ser tranquila, diversa en recursos naturales y no presentar problemas de sobrepoblación; escenario que ha cambiado en los últimos años. De acuerdo con Valdez *et al.* (2011), los asentamientos urbanos desplazan los tipos de coberturas trayendo implicaciones en el ciclo hidrológico, la biodiversidad, la erosión del suelo y el clima local, entre otros aspectos relevantes.

Según Tovar (2013), el acelerado crecimiento poblacional que las áreas urbanas han presentado en los últimos años, es debido, principalmente, al éxodo masivo de poblaciones rurales hacia las metrópolis en busca de mejores opciones de vida; determina que actualmente un poco más de la mitad de la población del planeta resida en conglomerados urbanos, lo que ocasiona diversos conflictos con el entorno natural por la excesiva demanda de espacio. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2010), para el año 2025, se estima que más de la mitad de la población mundial vivirá en las ciudades, de manera que la denominada “nueva bomba demográfica” supondrá urbes desbordadas, degradadas y empobrecidas, con una población numerosa y vulnerable.

Actualmente el país vive una dinámica de densificación y es objeto de la aplicación de políticas de renovación urbana (Tovar, 2013). El crecimiento de las urbes, particularmente de Latinoamérica, no ha permitido cumplir a cabalidad de este precepto, se sufren los estragos del crecimiento desordenado, a causa de una inadecuada planificación urbana (Soto, 2011).

El desarrollo armónico de las ciudades implica un adecuado diseño urbanístico que incluya un ordenamiento acorde a las construcciones, enmarcadas en un contexto humanizado. Mientras tanto países como Holanda han fijado sus objetivos en alcanzar los 40 – 50 m<sup>2</sup> de zona verde por habitantes. En Francia, a nivel nacional, dispone como media de 25 m<sup>2</sup> por habitante (Orta, 2006). Por otra parte, según Mena *et al.* (2011), la ciudad de Curitiba en Brasil contaba 20 millones de m<sup>2</sup> de área verde, lo que representa 52,2 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, superando largamente la propuesta de la Sociedad Brasileña de Arborización Urbana (SBAU) de 15 m<sup>2</sup> por habitante (SBAU, 1996).

Según Valdez *et al.* (2011), El análisis espacial cuantitativo de los cambios de cobertura vegetal y el uso del suelo en una cuenca, genera información valiosa de los recursos naturales, de manera que, el monitoreo de estos fenómenos sirve como herramienta de planeación para los tomadores de decisiones. Buitrago (2013) señala que un criterio fundamental en el ordenamiento de las cuencas debe ser el ajuste de cargas y beneficios, en el cual se deben considerar los diferentes niveles de uso de los recursos, así como también del cuidado efectivo de los mismos.

De acuerdo con Díaz *et al.* (2013), la disponibilidad de las áreas verdes en la ciudad de Ibagué puede estar influenciado por el poder adquisitivo de la comunidad, por lo antes dicho la accesibilidad a las áreas verdes es limitada para algunas poblaciones en la ciudad. Shanahan *et al.* (2014), destaca la inequidad ambiental para las ciudades, representada en la reducción sistemática del acceso a las zonas verdes naturales dentro de los barrios socioeconómicos desfavorecidos.

Con base al estudio realizado por Álvarez (2013) el proceso de urbanización en la microcuenca se produjo en los últimos 20 años, debido a procesos de migración de las comunidades campesinas por razones de seguridad, consecuencia del conflicto armado y eventos ambientales, siendo comunidades principalmente de estratos socioeconómicos con niveles de ingresos bajos los que se encuentran asentados en la microcuenca.

El reto de los países subdesarrollados, es hacer que la disponibilidad de áreas verdes sea compatibles y funcionales bajo la presión del crecimiento urbano y la expansión urbana (Hassan & Hooman, 2012). Senanayake *et al.* (2013) retoman a Faiz, (1993), quienes destacan que la mayoría de los países en desarrollo, no han prestado la debida atención a la planificación de los espacios verdes, en parte, debido a esto, la calidad ambiental de los centros urbanos, es significativamente menor que en los países desarrollados.

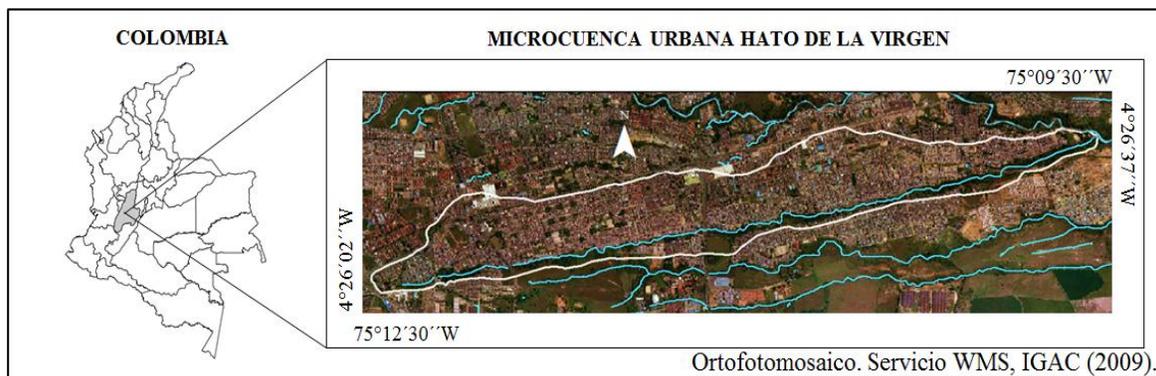
Los espacios verdes juegan un papel importante en las zonas urbanas a través de sus contribuciones ambientales, estéticos, sociales y económicos a la salud y el bienestar de los residentes (Senanayake *et al.* 2013), consecuente con este planteamiento se hace necesario el análisis de la dinámica de coberturas en la microcuenca urbana Hato de la Virgen para

aportar un diagnóstico evolutivo de las áreas urbanas, a quienes están en la labor de planificar el uso del territorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Departamento del Tolima se encuentra localizado entre las cordilleras Central y Oriental de Colombia. La microcuenca urbana Hato de la Virgen nace en el centro del perímetro urbano de la ciudad de Ibagué, brota bajo el parque del barrio Versalles, y desemboca en el río Chípalo; posee un área de 2,8 Km<sup>2</sup>, correspondiente al 8,28% de la cabecera municipal de Ibagué, recorre 5,7 km con dirección noroccidente, atravesando 83 barrios (figura 1), se ubica en un rango altitudinal con la cota máxima de 1160 m y mínima de 970 m en transición de clima cálido a medio, y zona de vida tropical a premontano.



**Figura 1.** Ubicación espacial de la microcuenca el Hato de la Virgen

Concentra un porcentaje significativo de la población en todo el municipio con un total de 64.718 habitantes en relación con 600.000 habitantes para la ciudad según Planeación

Municipal con el estudio de Indicadores de Desarrollo Territorial (2010) y 70.000 habitantes según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2011).

Según el Plan de Manejo Socio Ambiental de la microcuenca el Hato de la Virgen para el 2012, los problemas prioritarios para esta microcuenca son la inadecuada deposición de residuos sólidos, el inadecuado manejo de vertimientos, vulnerabilidad a amenazas naturales y socio naturales, desescolarización e inadecuados patrones culturales, procesos de urbanización incontrolados, inseguridad social, inadecuada comunicación entre los actores sociales.

### **Metodología**

Se realizó un análisis histórico de la microcuenca, determinando los detonantes y momentos cruciales del proceso de urbanización; se definió el periodo de estudio de 20 años; Se emplean aerofotografías pancromáticas del año 1994, con resolución de 15 micrones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); aerofotografías digitales del año 2003, escala de grises con resolución de 15 cm (Secretaría de Planeación Municipal). Se referenció las fotografías con la serie de planchas topográficas del año 1995 del IGAC a escala 1:2000, transformadas al Sistema de Proyección Magna Sirgas (EPSG, 3116). Se realizó el remuestreo basado en ajustes polinómicos para corregir las distorsiones de las fotos y crear productos geoméricamente aceptables (Falla, 2004). Se accedió al ortofotomosaico de la ciudad de Ibagué, a través del servicio de mapa en la red (*Web Map Server –WMS–*) del IGAC año 2009. Su imagen ortocorregida, de 15 cm de resolución espacial, y para su actualización se consultó el portal de mapas en línea *Yahoo Maps* de

Yahoo. Construida la base de datos geográfica, se elaboró el modelo de datos para la microcuenca, siguiendo los temas y grupos del esquema del Catálogo de objetos CO-U y Catálogo de símbolos Cs-2000 Versión 1.0 del Ministerio de Hacienda y Crédito Público e IGAC; se adapta con la clasificación realizada por Mena, *et al.* (2011) para definir áreas verdes y cobertura vegetal en espacios urbanas (tabla 1).

**Tabla 1.** Modelo de datos geográfico de la microcuenca urbana el Hato de la Virgen

TEMA	GRUPOS	OBJETOS	SIGLA	DEFINICIÓN
Cobertura Vegetal 4000	Áreas de vegetación 4100	Área Verde	AV	Espacio con predominio de vegetación arbórea. También incluyen los prados y jardines de bandejones centrales en vías públicas.
		Cobertura vegetal Ribereña	CVR	Coberturas presentes a la margen de las fuentes hídricas.
	Árboles o arbustos 4200	Arborización Urbana	AU	Elementos vegetales de tipo arbóreo dentro de la zona urbana.
Catastro 2000	Edificaciones y obras civiles 2300	Espacio Abierto	EA	Espacio libre de obstáculos que corresponden a aquellos espacios libres de construcciones que se encuentren disponibles para pasar a conformar el sistema de áreas verdes.
		Área Construida	AC	Áreas construidas

Se digitalizaron las coberturas presentes para el año 1994, 2003 y 2009 actualizada al 2014; mediante el Software gvSIG (versión 2.0), a una escala de trabajo mayor a 1: 1000 y la unidad mínima de mapeo de 4 m, considerado como diámetro de copa significativo en el área de estudio y relevante en el análisis. Se siguió la metodologías de análisis detallado de la matriz de transición (Pontius, *et al.*, 2004, Pérez & Bosque 2007), y el índice de vulnerabilidad a la transición (Braimoh, 2006), para dar respuesta a las preguntas de: ¿cuáles son los cambios netos del paisaje para cada categoría?, ¿cuáles son las ganancias,

pérdidas, e intercambio de cada categoría?, ¿cuál es la vulnerabilidad de las categorías a la transiciones?

## Resultados

Se obtienen la distribución espacial, patrón y métrica de las coberturas para los tres momentos de análisis (figura 2).



**Figura 2.** Distribución espacio – temporal, de las coberturas y uso de la tierra en la microcuenca urbana el Hato de la Virgen

### Transición y los cambios globales 1994 - 2003

Mediante la superposición de mapas de cobertura y uso de la tierra del año 1994 y 2003 (Tabla 2), los valores muestran el porcentaje del total del paisaje dentro de cada combinación de categorías, los valores de la columna Total 1994 y la fila Total 2003, permiten determinar que el Área Construida, los Espacios Abiertos y la Cobertura Vegetal Ribereña, son las coberturas predominantes en la microcuenca, mientras en menor proporción está la Arborización Urbana. Las Áreas verdes para el periodo de 1994 poseían 5,41% (15.24 ha) y para el año 2003 6,76 % que corresponde a 19.01 ha.

**Tabla 2.** Matriz de cambio 1994-2003

Categoría 1994	Categoría 2003						Pérdida
	AU	AV	CVR	EA	MTZ	Total	
AU	0,29	0,27	0,10	0,09	1,96	2,71	2,42
AV	0,11	3,33	0,07	0,19	1,70	5,41	2,08
CVR	0,02	0,22	10,30	1,83	1,83	14,18	3,89
EA	0,33	1,72	1,29	7,96	15,66	26,96	19,00
MTZ	0,54	1,22	0,34	0,51	48,12	50,73	2,61
Total	1,29	6,76	12,10	10,58	69,27	100	30,01
Ganancias	1,01	3,43	1,80	2,62	21,15	30,01	

### Cambios por categorías 1994 - 2003

El análisis de las de las ganancias, pérdidas, cambio total, intercambio y cambio neto expresados en proporción de la superficie total de la microcuenca se observa en la (tabla 3); en la cual, la categorías Espacios Abiertos y Cobertura Vegetal Ribereña, experimentan las mayores pérdidas, con el 19,00% (53.50 ha) y 3,89% (10.95 ha) del paisaje. Mientras en la fila de las ganancias, el Área Construida y las Áreas Verdes

presentan los mayores porcentajes de 21.15% (59.55 ha) y 3,43% (9.64 ha). Del año 1994 al 2003, el 30,01 % (84.49 ha) del total del paisaje sufrió cambios totales, debido principalmente a intercambios sucedidos en un 10,13% de la superficie total; los mayores aporte a estos cambios totales son proporcionados por el Área Construida con 23,77% (66.90 ha) y los Espacios Abiertos 21,63 % (60.88 ha). El Área Construida y lo Espacios Abiertos presentaron los principales cambios netos con 18,54% (52.19 ha) y 16,38 (46.11 ha).

**Tabla 3.** Valores de cambio para las categorías de ocupación de la tierra expresadas en porcentaje del área total del paisaje

<b>Categorías</b>	<b>1994</b>	<b>2003</b>	<b>Ganancias</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Cambio Total</b>	<b>Intercambio</b>	<b>Valor absoluto del cambio neto</b>
<b>AU</b>	2,71	1,29	1,01	2,42	3,43	2,02	1,41
<b>AV</b>	5,41	6,76	3,43	2,08	5,51	4,17	1,34
<b>CVR</b>	14,18	12,10	1,80	3,89	5,69	3,60	2,09
<b>EA</b>	26,96	10,58	2,62	19,00	21,63	5,25	16,38
<b>MTZ</b>	50,73	69,27	21,15	2,61	23,77	5,23	18,54
<b>Total</b>	100,00	100,00	30,01	30,01	30,01	10,13	19,88

### **Vulnerabilidad de las clases a la transición 1994 - 2003**

La vulnerabilidad de las categorías a la transición indica la tendencia a perder, ganar o persistir la categoría (tabla 4). Cuando los valores son mayores a 1, significa que estas categorías tienen una mayor tendencia a perder o a ganar que a persistir, por lo tanto la Arborización Urbana y los Espacios Abiertos tienen mayor tendencia a la transición que a la persistencia; las Áreas Verdes y la Cobertura Vegetal Ribereña y el Área Construida a persistir.

La tasa neta de cambio a la persistencia (n p) de la Arborización Urbana, la Cobertura Vegetal Ribereña y los Espacios Abierto, al ser los valores negativos, indica que tienden a la transición, mientras las Áreas Verdes y el Área Construida aumentan su cobertura en la microcuenca, por lo cual persisten en el paisaje.

**Tabla 4.** Valores de las relaciones ganancia-persistencia, perdida-persistencia y cambio-persistencia

CATEGORIAS	G p	L p	n p
AU	3,53	8,49	-4,95
AV	1,03	0,63	0,40
CVR	0,17	0,38	-0,20
EA	0,33	2,39	-2,06
MTZ	0,44	0,05	0,39

#### **Transición y los cambios globales 2003 – 2014**

Los resultado de la superposición de mapas de cobertura y uso de la tierra del año 2003 a 2014 son evidenciados en la (Tabla 5), los valores de la columna Total 2003 y la fila Total 2014, permiten determinar que el Área Construida es la coberturas predominantes en la microcuenca, mientras la de menor proporción es la Arborización Urbana en los dos momentos. La sumatoria de los valores localizados en la diagonal, determina que el 87,03 % (244.97 ha) respecto a la superficie total, presenta estabilidad de categorías.

Las Áreas verdes para el año 2003 tenían una proporción de 6,76 % (19.01) y para el año 2014 ocupan el 8,3 % (23.43 ha).

**Tabla 5.** Matriz de cambio 2003-2014

<b>Categoría 2003</b>	<b>Categoría 2014</b>						<b>Pérdida</b>
	<b>AU</b>	<b>AV</b>	<b>CVR</b>	<b>EA</b>	<b>MTZ</b>	<b>Total</b>	
AU	0,34	0,20	0,02	0,01	0,67	1,29	0,90
AV	0,07	5,16	0,10	0,38	1,05	6,76	1,50
CVR	0,01	0,10	10,68	0,85	0,45	12,10	1,41
EA	0,04	0,71	1,21	5,56	3,05	10,58	5,01
MTZ	0,66	2,15	0,74	0,49	65,23	69,27	4,04
<b>Total</b>	1,18	8,33	12,76	7,30	70,44	100	12,96
<b>Ganancias</b>	0,78	3,16	2,07	1,73	5,21	12,96	

### **Cambios por categorías 2003 - 2014**

La (tabla 6) muestra las ganancias, pérdidas, cambio total, intercambio y cambio neto expresados en proporción a la superficie, los valores de pérdidas son mayores para los Espacios Abiertos, con el 5,01% (14.11 ha) del paisaje. El Área Construida presento las máximas ganancias con el 5,21 % (14.67 ha). Del año 2003 al 2014, el 12,96% (36.49 ha) del total del paisaje sufrió cambios totales, debido principalmente a intercambios sucedidos en un 9,56% (26.94 ha) de la superficie total; los mayores aporte a estos cambios totales son proporcionados por el Área Construida con 9,25 % (26.04 ha) y los Espacios Abiertos 6.75 % (19.00 ha). En el periodo de años 2003 y 2014, los Espacios Abiertos y las Áreas Verdes presentaron los principales cambios netos con 3,28 % (9.23 ha) y 1.57 (4.41 ha).

**Tabla 6.** Valores de cambio para las categorías de ocupación de la tierra expresadas en porcentaje del área total del paisaje

<b>Categorías</b>	<b>2003</b>	<b>2014</b>	<b>Ganancias</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Cambio Total</b>	<b>Intercambio</b>	<b>Valor absoluto del cambio neto</b>
<b>AU</b>	1,29	1,18	0,78	0,90	1,68	1,56	0,12
<b>AV</b>	6,76	8,33	3,16	1,59	4,76	3,19	1,57
<b>CVR</b>	12,10	12,76	2,07	1,41	3,49	2,83	0,66
<b>EA</b>	10,58	7,30	1,73	5,01	6,75	3,47	3,28
<b>MTZ</b>	69,27	70,44	5,21	4,04	9,25	8,08	1,17
<b>Total</b>	100,0	100,0	12,96	12,96	12,96	9,56	3,40

### **Vulnerabilidad de las clases a la transición 1994 - 2003**

Según los valores de las tendencias de las categorías a perder, ganar o persistir (tabla 7). La Arborización Urbana presenta gran intercambio, principalmente a la perdida; mientras el resto de categorías a estar más estables. La tasa neta de cambio a la persistencia (n p) de la Arborización Urbana y los Espacios Abierto es negativa, propensa a la transición, mientras que la ganancia neta de las Áreas Verdes, la Cobertura Vegetal Ribereña y el Área Construida, es mayor a su persistencia.

**Tabla 7.** Valores de las relaciones ganancia-persistencia, perdida-persistencia y cambio-persistencia

<b>CATEGORIAS</b>	<b>G p</b>	<b>L p</b>	<b>n p</b>
<b>AU</b>	1,96	2,26	-0,30
<b>AV</b>	0,61	0,31	0,30
<b>CVR</b>	0,19	0,13	0,06
<b>EA</b>	0,31	0,90	-0,59
<b>MTZ</b>	0,08	0,06	0,02

## Transición y los cambios globales 1994 - 2014

La (Tabla 8) muestran el porcentaje del total del paisaje dentro de cada combinación de categorías durante el periodo de 20 años, los valores de la columna Total 1994 y la fila Total 2014, permiten determinar que para el año 1994 las coberturas predominantes eran principalmente el Área Construida 50,73% (142.80 ha) y los espacios abiertos 26,97% (75.90 ha) y para el año 2014, el Área Construida ocupa el 70,45% del territorio con (198.32 ha), seguido por la cobertura Vegetal Ribereña en un 12,76% (35.91 ha).

Las Áreas verdes para el año 1994 ocupaban el 5,41% (15.24 ha) y para el año 2014 8,33 % (23.43 ha), coberturas que han ganado espacio, pero mucho menor al aumento de la cifra de las Áreas Construidas.

**Tabla 8.** Matriz de cambio 1994 - 2014

Categoría 1994	Categoría 2014						Total	Pérdida
	AU	AV	CVR	EA	MTZ	Total		
AU	0,25	0,39	0,08	0,05	1,95	2,71	2,46	
AV	0,08	3,57	0,08	0,14	1,54	5,41	1,84	
CVR	0,01	0,27	10,58	1,47	1,85	14,18	3,60	
EA	0,33	2,37	1,58	5,31	17,38	26,97	21,66	
MTZ	0,51	1,73	0,44	0,33	47,72	50,73	3,01	
<b>Total</b>	1,18	8,33	12,76	7,29	70,45	100	32,57	
<b>Ganancias</b>	0,93	4,75	2,17	1,99	22,73	32,57		

## Cambios por categorías 1994 - 2014

El análisis de las ganancias, pérdidas, cambio total, intercambio y cambio neto expresado en proporción a la superficie total de la microcuenca se evidencia en la (tabla 9);

la mayor pérdida proviene de los espacios abiertos 21,66% (60.97 ha) y la cobertura que mayor ganancia experimento fue el Área Construida en un 22,73% (63.98 ha).

Del año 1994 al 2014, el 32,57 % (91.69 ha) del total del paisaje sufrió cambios, debido principalmente a intercambios sucedidos en un 9,94% de la superficie total.

**Tabla 9.** Valores de cambio para las categorías de ocupación de la tierra expresadas en porcentaje del área total del paisaje

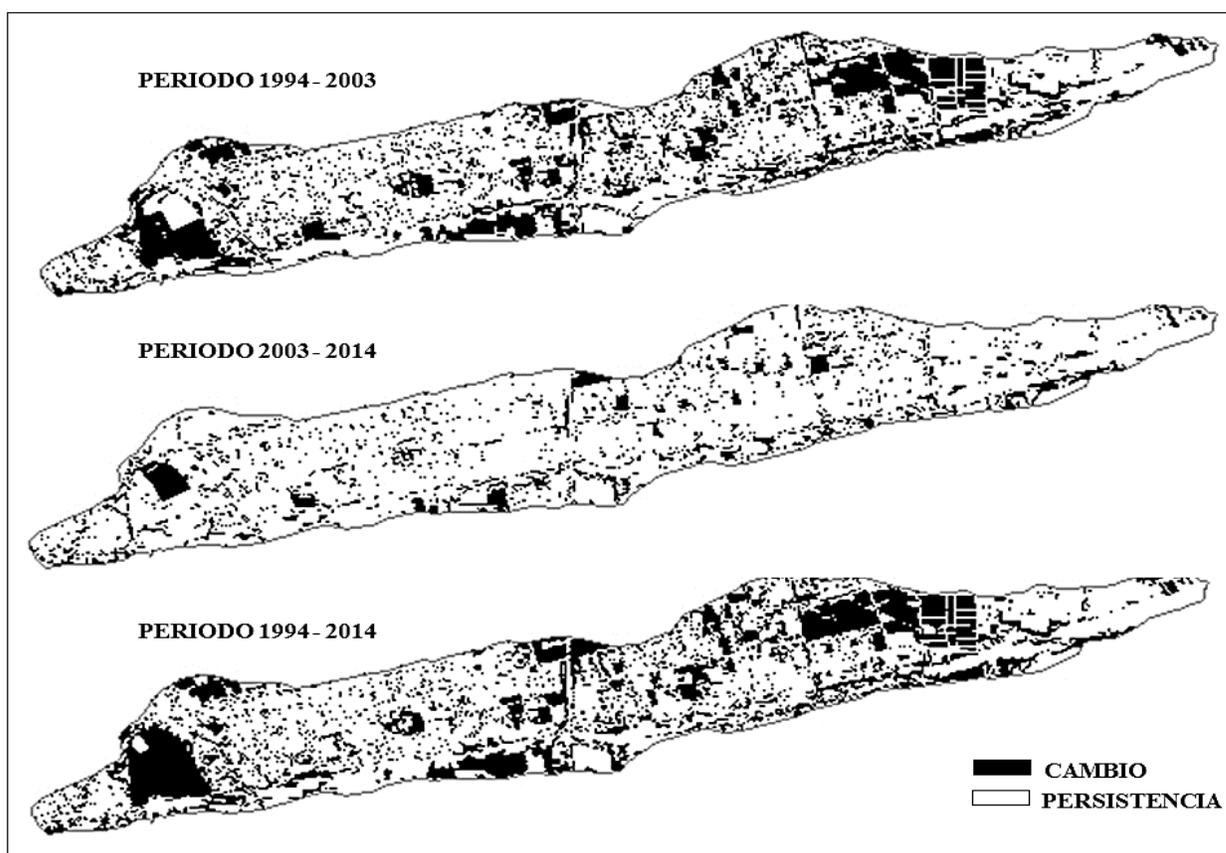
<b>Categoría</b>	<b>1994</b>	<b>2014</b>	<b>Ganancias</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Cambio Total</b>	<b>Intercambio</b>	<b>Valor absoluto del cambio neto</b>
<b>AU</b>	2,71	1,18	0,93	2,46	3,39	1,86	1,53
<b>AV</b>	5,41	8,33	4,75	1,84	6,60	3,69	2,91
<b>CVR</b>	14,18	12,76	2,17	3,60	5,78	4,35	1,43
<b>EA</b>	26,97	7,29	1,99	21,66	23,65	3,98	19,67
<b>MTZ</b>	50,73	70,45	22,73	3,01	25,73	6,01	19,72
<b>Total</b>	100,0	100,0	32,57	32,57	32,57	9,94	22,63

#### **Vulnerabilidad de las clases a la transición 1994 - 2014**

Según la información de la (tabla 10); La arborización Urbana y los espacios abiertos tienen mayor tendencia a la transición, mientras el resto de categorías a la persistencia; con base en la tasa neta de cambio a la persistencia, la Arborización Urbana, la Cobertura Vegetal Ribereña y los Espacios Abierto, presentan valores negativos, por lo tanto tienden a la transición de cobertura, mientras las Áreas Verdes y el Área Construida aumentan su cobertura, tendencia a la persistencia.

**Tabla 10.** Valores de las relaciones ganancia-persistencia, perdida-persistencia y cambio-persistencia

CATEGORIAS	G p	L p	n p
AU	3,78	10,01	-6,23
AV	1,33	0,52	0,82
CVR	0,21	0,34	-0,14
EA	0,37	4,08	-3,71
MTZ	0,48	0,06	0,41



**Figura 3.** Persistencia y Cambios de las categorías durante los tres periodos de análisis

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La estabilidad de las coberturas para el periodo de análisis de 20 años es del 67,43% (189,81 ha), para el momento 1 (1994 – 2003) era de 69,99% (197,01 ha) y para el momento 2 (2003 – 2014) de 87,04% (244,97 ha). Las coberturas presentan mayor estabilidad a medida que pasan los años en la microcuenca urbana el Hato de la Virgen, la estabilidad está dada en función del Área Construida, siendo la de mayor tamaño y la que mayores ganancias obtiene; en el análisis del periodo de 20 años las ganancias del Área Construida fue de 22,73% (63.98 ha), en el periodo 1 de 21,15% (59.55 ha) y en el periodo 2 de 5,21% (14.67 ha). Mediante estas cifras se determina que durante el primer periodo de tiempo la microcuenca presento el mayor proceso de urbanización, haciendo el Área Construida el componente principal del paisaje, mientras los espacios abiertos que en el momento debieron ser contemplados para conformar áreas verdes presentaron la mayor pérdida en un 19,00% (53,50 ha) y para el periodo de 20 años 21,66% (60,97 ha).

El cambio total de todas las categorías respecto al área total de la microcuenca, presento un valor elevado de 30,01% (84,51 ha) para el periodo 1, mientras para el periodo de tiempo 2, 2003 a 2014, el cambio total fue de 12,96% (36,48 ha), cifra que confirma la estabilidad de las coberturas principalmente el Área Construida en el tiempo, el valor del cambio total de las categorías en el periodo de 20 años de 32,57% (91.69 ha), generaliza los cambios totales, por lo tanto el realizar estos análisis en periodos de tiempo no muy amplios, permite conocer de manera más detallada la dinámica del paisaje, en las microcuencas urbanas.

De acuerdo con la vulnerabilidad de las clases a la transición, la Arborización Urbana tiene mayor tendencia a la transición y menor a la persistencia durante los 20 años, se debe a que son las áreas de análisis más pequeñas y mayormente dispersas; los Espacios Abiertos presentaron mayor tendencia a la transición para el primer periodo mientras para el segundo disminuyo la transición, aunque siguen con la tendencia, esto se debe a que para el año 2014 ya no es una de las coberturas más predominantes.

Las Áreas Verdes para el periodo de 20 años presento mayor tendencia a la persistencia, cifra que se debe principalmente al primer periodo, debido a que para el segundo periodo se estabiliza. La Cobertura Vegetal Ribereña para el primer periodo presentaba la tendencia a la transición mientras para el segundo periodo a la persistencia, aunque el análisis de los 20 años evidencia que durante ese periodo la cobertura presenta el fenómeno de transición con valores negativos, con base a la tasa neta de cambio a la persistencia (n p) mientras el Área Construida y las Áreas Verdes con base a la tasa neta de cambio a la persistencia (n p), con valores positivos indican que son coberturas que persisten para los tres momentos.

Estas cifras indican como el Área Construida ha remplazado, la Cobertura Vegetal Ribereña, la Arborización Urbana y los Espacios Abiertos que en algún momento pudieron conformar nuevas áreas ambientalmente necesarias en los centros urbanos, pero que disminuyen en el tiempo y es relevante hacer énfasis que las áreas construidas ahora presentan un crecimiento en altura, ya que no tienen suficientes espacios para continuar su proceso de expansión, siendo el Área Construida la cobertura predominante en el paisaje, y las Áreas verdes no crecen del mismo modo que la categoría de las construcciones, que se relacionan con el aumento poblacional en la microcuenca urbana el Hato de la Virgen.

## **CONCLUSIONES**

Los análisis mediante la superposición de mapas y la implementación de las matrices de cambio y el índice de persistencia permiten conocer cuál ha sido la evolución de las coberturas y uso del territorio, es importante resaltar que estos procedimientos son soportados en las Tecnologías de la Información Geográfica, las cuales hacen posible tener información confiable y detallada del proceso de urbanización de las microcuencas urbanas.

La microcuenca urbana Hato de la Virgen presenta un alto porcentaje de urbanización, proceso de densificación urbana, que disminuye la disponibilidad de Áreas Verdes por habitante y dificulta la determinación de nuevos espacios que pueden conformar la red de Áreas Verdes con características ambientales en pro del bienestar físico y mental de los habitantes. Con el análisis multitemporal de las coberturas y uso de la tierra se evidencia el improvisado proceso de planificación del territorio, en el cual no se establece desde el inicio las áreas verdes urbanas necesarias, ni se hace control y seguimiento del proceso urbanístico.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Álvarez, Y. (2013). Aplicación de la cartografía social como enfoque en la planificación y manejo socio ambiental de cuencas urbanas: el caso de la microcuenca Hato de la Virgen, en la ciudad de Ibagué, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Asociación GVSIG. (Versión 2.0). Proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en software libre. Desarrollado por el gobierno local de la Comunidad de Valenciana, España. Puede consultarse en el siguiente sitio web: <http://www.gvsig.com/>

Braimoh, A. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. [Versión electrónica]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1), 254-263. Recuperado el 22 de mayo de 2014 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880905005001>

Buitrago, O. (2013). Planificación de Cuencas Hidrográficas. Algunos principios básicos. Caso de la Cuenca del Río Cali. [Versión electrónica]. *Entorno Geográfico*, (4). Recuperado el 24 de junio de 2014 de <http://www.entornogeografico.com/index.php/EntornoGeografico/article/view/39>

Díaz, M., Ortiz, N. & Pérez, U. (2013). Disponibilidad de áreas verdes y su percepción por población joven de la comuna 6 de Ibagué (Tolima-Colombia), apoyado en Geomática. Semana Geomática Internacional 2013. Bogotá, Colombia.

Hassan, L., & Hooman, B. (2012). GIS application in urban green space per capita evaluation (Case study: City of Tehran). [Versión electrónica]. *Annals of Biological Research*, 3(5), 2439-2446. Recuperado el 21 de mayo de 2014 de <http://scholarsresearchlibrary.com/ABR-vol3-iss5/ABR-2012-3-5-2439-2446.pdf>

Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R., & Gajardo, J. (2011). Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. [Versión electrónica]. *Ciência Florestal, Santa María*, 21(3), 521-531, ISSN (0103-9954). Recuperado el 20 de mayo de 2014 de <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/viewFile/3809/2249>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2010). Crear ciudades más verdes. [En línea]. Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura urbana y Periurbana. Roma. Recuperado el 7 de julio de 2014 de <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/pdf/ggc-es.pdf>

Orta, S. R. (2006). La empresa de jardinería y paisajismo: mantenimiento y conservación de espacios verdes. [En línea]. Madrid, Edición Mundi-Prensa, 544 p, 3ra edición. Recuperado el 24 de junio de 2014 de [http://books.google.com.co/books/about/La\\_empresa\\_de\\_jardiner%C3%ADa\\_y\\_paisajismo.html?id=wf57Hq116D8C&redir\\_esc=y](http://books.google.com.co/books/about/La_empresa_de_jardiner%C3%ADa_y_paisajismo.html?id=wf57Hq116D8C&redir_esc=y)

Pérez, U. & Bosque, J. (2007). TRANSICIONES DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL PERÍODO 1991–2005 EN LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA, COLOMBIA. [Versión electrónica]. Serie geográfica, (14), 163-178. Recuperado el 1 de julio de 2014 de [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/transiciones\\_de\\_la\\_cobertura\\_y\\_uso\\_de\\_la\\_tierra\\_en\\_el\\_periodo\\_1991\\_2005.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/transiciones_de_la_cobertura_y_uso_de_la_tierra_en_el_periodo_1991_2005.pdf)

Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. [Versión electrónica]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 251-268. Recuperado el 10 de marzo de 2014 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788090300327X>

Santana, L. & Salas, J. (2007). Analisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes Landsat. [Versión electrónica]. *GeoFocus* (Artículos), n°7, p. 281-313. Recuperado el 24 de junio de 2014 de [http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo14\\_2007.pdf](http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo14_2007.pdf)

Senanayake, I., Welivitiya, W., & Nadeeka, P. (2013). Urban green spaces analysis for development planning in Colombo, Sri Lanka, utilizing THEOS satellite imagery – A remote sensing and GIS approach. [Versión electrónica]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 307-314. Recuperado el 11 de marzo de 2014 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886671300037X>

Shanahan, D., Lin, B., Gaston, K., Bush, R., & Fuller, R. (2014). Socio-economic inequalities in access to nature on public and private lands: A case study from Brisbane, Australia. [Versión electrónica]. *Landscape and Urban Planning*, 130(0), 14-23. Recuperado el 21 de mayo de 2014 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614001479>

Soto, J. (2011). Las Áreas Verdes Urbanas: Una Alternativa Para Mejorar El Microclima Urbano Otro Mundo Es Posible N.d. [Versión electrónica]. Recuperado el 12 de marzo de 2014 de <http://www.otromundoesposible.net/secciones-historicas/miradas-urbanas/las-areas-verdes-urbanas-una-alternativa-para-mejorar-el-microclima-urbano>

Tovar, G. (2013). Aproximación a la silvicultura urbana en Colombia. [Versión electrónica]. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 22(1), 119-136. Universidad Nacional de

Colombia. Recuperado el 21 de mayo de 2014 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=7482904>

Universidad del Tolima & Secretaria de desarrollo rural y Medio Ambiente. Convenio interadministrativo N° 039 de 2011. (2012). Plan de manejo socio ambiental de la microcuenca urbana Hato de la Virgen en Ibagué-Tolima.

Valdez, J., Aguirre, C., & Ángeles, G. (2011). Análisis de los cambios en el uso del suelo en la cuenca del río Metztlán (México) usando imágenes de satélite: 1985-2007. [Versión electrónica]. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(3), 313-324. Recuperado el 20 de julio de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-32312011000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-32312011000300003&lng=es&tlng=es)